

# EUROPEAN PATENT OFFICE

## Patent Abstracts of Japan

BEST AVAILABLE COPY

PUBLICATION NUMBER : 11204774  
PUBLICATION DATE : 30-07-99

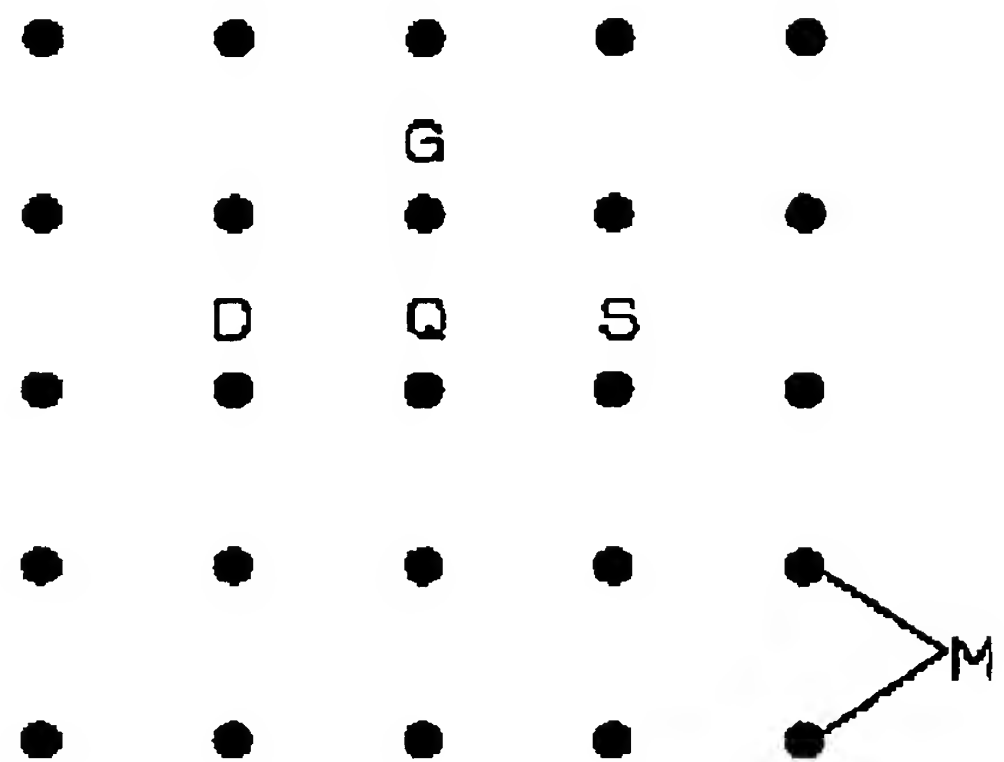
APPLICATION DATE : 14-01-98  
APPLICATION NUMBER : 10017819

APPLICANT : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD;

INVENTOR : YAMASHITA ICHIRO;

INT.CL. : H01L 29/06 H01L 21/368 H01L 27/10  
H01L 51/00 H01L 21/331 H01L 29/73  
H01L 29/80 H01L 29/86

TITLE : TWO-DIMENSIONALLY CONFIGURED  
QUANTUM ELEMENTS AND  
MANUFACTURE THEREOF



ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To enable manufacturing of a mono-electron transistor or mono- electron memory acting stably at room temp., by two-dimensionally arranging quantum dots composed of a plurality of atom sets of specified diameters on an insulator at specified pitches.

SOLUTION: A two-dimensional crystal with many white dots of an iron oxide and black parts of a remaining protein or Si around them is heat treated again in hydrogen at 300-500°C for 60 min. to form many two-dimensionally arranged quantum elements from iron atom aggregates on a surface oxide film of a silicon substrate, the aggregate diameter is 5-10 nm and equal to that of the nucleus of a ferrum oxide in ferritin and an inter-aggregate pitch is 11-14 nm and equal to one side of a ferritin protein shell. By setting so that one of the aggregates M is a quantum well Q, adjacent two are drain D and source S, a fourth aggregate adjacent the quantum well Q is a gate G and using other aggregates M as a wiring, a mono-electron transistor is formed.

COPYRIGHT: (C)1999,JPO

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-204774

(43)公開日 平成11年(1999) 7 月30日

(51)Int.Cl. <sup>8</sup>	識別記号	F-I
H 0 1 L 29/06		H 0 1 L 29/06
21/368		21/368
27/10	4 5 1	27/10 4 5 1
51/00		29/86 F
21/331		29/28
審査請求 未請求 請求項の数15 F D (全 7 頁) 最終頁に続く		

(21)出願番号 特願平10-17819

(22)出願日 平成10年(1998) 1 月14日

(71)出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72)発明者 山下 一郎

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

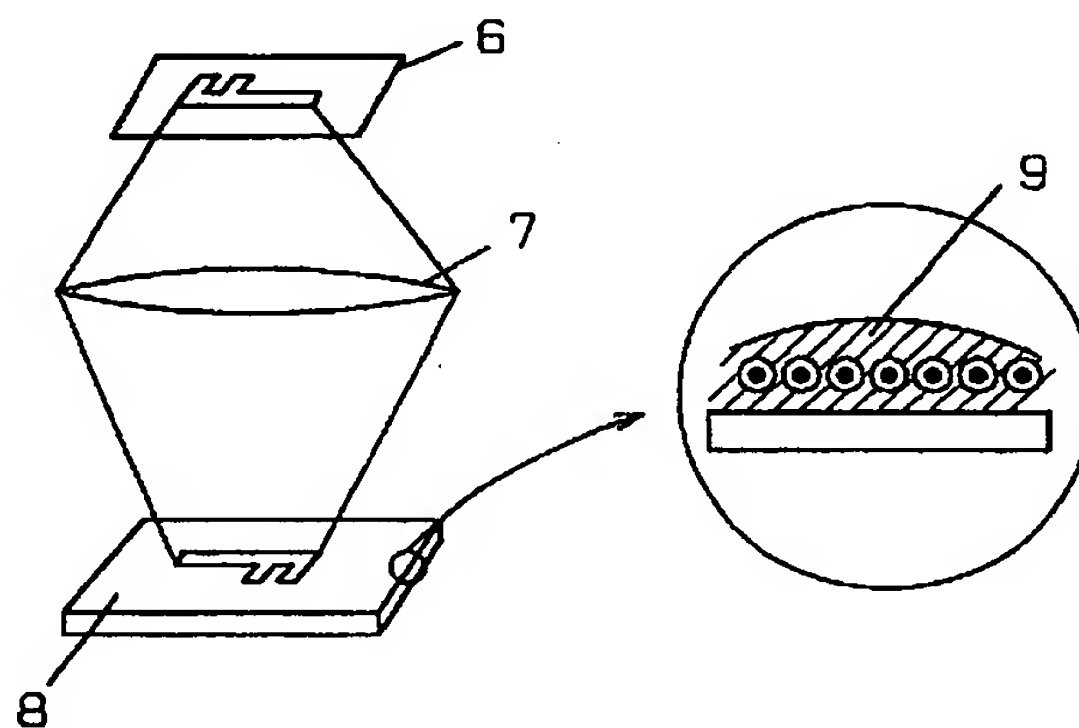
(74)代理人 弁理士 滝本 智之 (外 1 名)

(54)【発明の名称】 二次元的に配置された量子素子及びその製造方法

(57)【要約】

【課題】 常温で安定に作動し、現実に単電子トランジスタや単電子メモリとして生産可能な量子素子を提供すること。

【解決手段】 絶縁体の一平面上に直径  $d$  が  $5 \sim 7 \text{ nm}$  の複数の金属原子凝集体  $D$  からなる量子ドットが  $11 \sim 14 \text{ nm}$  のピッチで2次的に配置されている量子ドットを紫外線以上のエネルギービームあるいは紫外線+加熱によりパターン化して形成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 絶縁体の一平面上に直径  $d$  が  $5 \sim 10 \text{ nm}$  の複数の原子集合体とその周りを有機物で覆われたから複合粒子が二次元的に配置された後、有機物を紫外線の照射または紫外線の照射と熱処理により分解して得られることを特徴とする量子ドット。

【請求項 2】 原子集合体が単結晶である請求項 1 に記載の量子ドット。

【請求項 3】 原子集合体が鉄  $\text{Fe}$  またはその酸化物である請求項 1 に記載の量子ドット。

【請求項 4】 有機物の主要な部分が蛋白質である請求項 1 に記載の量子ドット。

【請求項 5】 二次元的に配置された量子ドットが、任意にパターンニングされる事を徴とする請求項 1 に記載の量子素子ドット。

【請求項 6】 水溶液の上に張られた  $\text{LB}$  膜に原子集合体と有機物の複合粒子を吸着させ、これを紫外線耐性でタンパク質の焼失温度以上の耐熱性と表面に絶縁性を有する支持体に乗せ、紫外線により有機物を分解することにより作製されることを特徴とする量子素子ドットの製造方法。

【請求項 7】 水溶液の上に張られた  $\text{LB}$  膜に原子集合体と有機物の複合粒子を吸着させ、これを紫外線耐性でタンパク質の焼失温度以上の耐熱性と表面に絶縁性を有する支持体に乗せ、紫外線により有機物を分解し、支持体と反応しにくいガス中で熱処理することにより作製されることを特徴とする量子素子ドットの製造方法。

【請求項 8】 水溶液の上に張られた  $\text{LB}$  膜に原子集合体と有機物の複合粒子を吸着させ、これを紫外線耐性でタンパク質の焼失温度以上の耐熱性と表面に絶縁性を有する支持体に乗せ、紫外線により有機物を分解し、支持体と反応しにくいガス中で一次熱処理した後、還元雰囲気中で二次熱処理することを特徴とする請求項 1 に記載の量子素子の製造方法。

【請求項 9】 金属タンパク質複合体がフェリチンである請求項 6、7 又は 8 に記載の製造方法。

【請求項 10】 支持体がシリコン  $\text{Si}$  基盤である請求項 6～8 のいずれかに記載の製造方法。

【請求項 11】 請求項 1 に記載の量子素子において、金属原子凝集体の 1 つを量子井戸、その量子井戸を挟む両隣の 2 つの金属原子凝集体を電極、その量子井戸の隣の第四の金属原子凝集体を制御ゲートとすることを特徴とする単電子トランジスタ。

【請求項 12】 請求項 1 に記載の量子素子において、走査型電子顕微鏡の電子ビームの絞りを前記ピッチ以下とし、僅かに炭素を含む真空中で金属原子凝集体間に電子ビームを走査させることを特徴とする量子素子の配線方法。

【請求項 13】 請求項 1 に記載の量子素子において、前記絶縁体を半導体基盤の表面酸化膜、金属原子凝集体

の 1 つをその半導体に対するドナー不純物、その隣の金属原子凝集体をその半導体に対するアクセプタ不純物とし、それら不純物が半導体基盤内部に拡散していることを特徴とするダイオード。

【請求項 14】 請求項 1 に記載の量子素子において、前記絶縁体を半導体基盤の表面酸化膜、金属原子凝集体の 1 つをその半導体に対するドナーもしくはアクセプタ不純物、その両隣の 2 つの金属原子凝集体をその半導体に対するアクセプタもしくはドナー不純物とし、それら不純物が半導体基盤内部に拡散していることを特徴とするトランジスタ。

【請求項 15】 請求項 1 に記載の量子素子において、絶縁体を半導体基盤の表面酸化膜、金属原子凝集体の 1 つをその半導体に対するドナーもしくはアクセプタ不純物、その両隣の 2 つの金属原子凝集体をその半導体に対するアクセプタもしくはドナー不純物とし、それら不純物が半導体基盤内部に拡散しているとともに、それら 3 つの不純物の組が  $11 \sim 14 \text{ nm}$  の整数倍の間隔で二次元的に配置されていることを特徴とするトランジスタアレイ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、二次元的に配置された量子ドットの作製とこれを用いた量子素子に属する。配置された量子ドットは、単電子トランジスタ、ドーピングダイオード、ドーピングトランジスタ及びドーピングトランジスタアレイとして好適に利用される。

## 【0002】

【従来の技術】単電子トランジスタ、単電子メモリー等のように単電子トンネル効果を利用した素子が注目されている。例えば、単電子トランジスタは、現在半導体トランジスタの主流をなす  $\text{MOSFETs}$  では限界に達しつつあるサブミクロン以下という超小型化要請に対して、 $\text{MOSFETs}$  に代わって前記要請に応じる有力候補である。

【0003】一方、外部に対して容量  $C$  をもつある微粒子に一つの電子が入り出す場合に消費される静電エネルギーは  $e^2/C$  である。トンネル現象は、静電エネルギーによる電子の出入りが熱じょう乱に打ち勝ったときに現れる。従って、トンネル効果を利用した上記素子を実現するには、フェルミレベルに最も近い遷移レベルが、室温での電子の熱励起レベル ( $\Delta E = \text{約 } 25 \text{ mV}$ ) よりも高くなるような微小な金属粒子からなる量子ドットを絶縁体上に配置することが必須である。また、量子素子を実現することができても、現在の配線では配線の寄生容量のためにトンネル現象を確認できないから、微小配線を形成する必要がある。

【0004】従来、単電子メモリーとして、減圧  $\text{CVD}$  により  $\text{a-Si}$  を堆積させ  $750^\circ\text{C}$  で結晶化させること

により、厚さ 3.4 nm の超薄膜の多結晶 Si 膜の細線（幅 100 nm）とゲート電極（幅 100 nm）とが 150 nm のゲート酸化膜を介して互いに交差した素子が試作された（応用物理第 63 巻第 12 号，p. 1248（1994））。この素子は、室温で動作し、従来のフラッシュメモリの限界を突破する高速で不揮発なメモリの可能性を秘めている。また、電子ビームリソグラフィ及び三角シャドーエバポレーション技術により、20 nm の島電極をもつアルミニウム基単電子トランジスタも製造された（Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 35 (1996) pp. L1465-L1467）。この単電子トランジスタは、シリコン系の素子に無い利点、例えばバックグラウンド電流がゲート電圧に依存しない周期的ゲート変調性を有する。

#### 【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかし、上記多結晶 Si 膜の単電子メモリーは、Si 膜の厚さにばらつきがあるので、性能が不安定である。又、上記 Al 基単電子トランジスタは動作温度が 100 K と依然として室温よりもはるかに低く、実用的でない。

【0006】そこで、この発明の目的は、常温で安定に作動し、現実に単電子トランジスタや単電子メモリーとして生産可能な量子素子を提供することにある。さらにこの発明の他の目的は、量子素子に配置された量子ドットを利用して、従来にない超微量の不純物がドーピングされた超小型規模のダイオード、トランジスタ等のデバイスを提供することにある。

#### 【0007】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明の量子素子は、絶縁体の一平面上に直径  $d$  が 5～10 nm の複数の原子集合体からなる量子ドットが 11～14 nm のピッチで二次元的に配置されていることを特徴とする。原子集合体を構成する原子は、例えば鉄 Fe である。又、アルミニウム Al、リン P、ゲルマニウム Ge でも良い。

【0008】この量子素子を製造する適切な方法は、先ず水溶液の上に張られた LB 膜に金属タンパク質複合体を吸着させる。この状態でこれを紫外線耐性でタンパク質の焼失温度以上の耐熱性と表面に絶縁性を有する支持体に載せる。このあと、蛋白複合体面を水溶液中でパターンを決めて紫外線処理を行うと、紫外線処理を行った部分は吸着蛋白質が分解され溶液中に溶出するので任意の形状の量子ドット膜が得られる。次にこのパターンニングを行った膜を真空中で紫外線処理を行って蛋白質部分のアミノ結合を切断する。さらにこの状態の者を支持体と反応しにくいガス中で一次熱処理する。これによりタンパク質が完全に焼失し、金属タンパク質複合体は金属酸化物となってタンパク質のサイズのピッチで支持体上に残り、二次元的に配列された状態となる。金属原子集合体が必要な場合は、その後還元雰囲気中で二次熱処理することで金属酸化物は還元されて金属原子凝集体とな

り支持体上に二次元的に配置された状態となる。金属原子凝集体の直径及びピッチは、当初の金属タンパク質複合体に依存するが概ね上記の通りである。

【0009】金属タンパク質複合体は、好ましくはフェリチンである。ただし、タンパク質としてはファージ、ウィルス由来のものでもよい。また蛋白質部分はポリエチレン等の有機物出会っても良い。支持体としては、シリコン Si 基盤が応用範囲が広いが、ガラス基盤やセラミック基盤でもよい。

【0010】上記量子素子は、金属原子凝集体の 1 つを量子井戸、その量子井戸を挟む両隣の 2 つの金属原子凝集体を電極、その量子井戸の隣の第四の金属原子凝集体を制御ゲートとすることを特徴とする単電子トランジスタとなりうる。金属原子凝集体の直径は 5～7 nm であり、これは金属原子にもよるが、通常数千個の原子の凝集体である。従って、この凝集体のフェルミレベルに最も近い遷移レベルは室温での電子の熱励起レベルよりも高い。又、量子井戸と電極とが、トンネル効果を生じうる距離 11～14 nm に配置されている。よって、この単電子トランジスタは、室温もしくは液体窒素程度の温度でトンネル現象を確認できる。

【0011】上記量子素子に配置された量子ドットの適切な配線方法は、走査型電子顕微鏡の電子ビームの絞りを前記ピッチ以下とし、僅かに炭素を含む真空中で金属原子凝集体間に電子ビームを走査させることを特徴とする。これにより、金属原子凝集体が炭素線で結ばれる。炭素源としては真空ポンプオイルから混入する炭化水素を主とする残ガスでよい。この配線方法によればナノメーター間隔の微細配線が可能であり、単電子トランジスタのように超小型化されたデバイスに好適である。

【0012】また、上記量子素子は、前記絶縁体を半導体基盤の表面酸化膜、金属原子凝集体の 1 つをその半導体に対するドナー不純物、その隣の金属原子凝集体をその半導体に対するアクセプタ不純物とし、それら不純物が半導体基盤内部に拡散していることを特徴とするダイオードともなりうる。

【0013】また、上記量子素子は、前記絶縁体を半導体基盤の表面酸化膜、金属原子凝集体の 1 つをその半導体に対するドナーもしくはアクセプタ不純物、その両隣の 2 つの金属原子凝集体をその半導体に対するアクセプタもしくはドナー不純物とし、それら不純物が半導体基盤内部に拡散していることを特徴とするトランジスタともなりうる。

【0014】これらのダイオード及びトランジスタの製造方法は、上記量子素子の製造方法と基本的に同様である。ただ、支持体として半導体を用い、金属タンパク質複合体中の金属が半導体に対してドナー不純物となるものとアクセプタ不純物となるものとを準備し、それら 2 種類又は 3 種類の金属タンパク質複合体を結合し、ヘテロダイマー又はヘテロトライマーの形態で支持体に吸着



させる点と、二次熱処理に続いて不純物拡散のために  $1000^{\circ}\text{C}\sim 1200^{\circ}\text{C}$  の条件で最終的に熱処理する点で異なるだけである。

【0015】得られるダイオード及びトランジスタのサイズは、 $10\text{ nm}\times 30\text{ nm}$  程度であり、極めて高速の動作を期待できる。

【0016】更にまた、上記量子素子は、前記絶縁体を半導体基盤の表面酸化膜、金属原子凝集体の1つをその半導体に対するドナーもしくはアクセプタ不純物、その両隣の2つの金属原子凝集体をその半導体に対するアクセプタもしくはドナー不純物とし、それら不純物が半導体基盤内部に拡散しているとともに、それら3つの不純物の組が  $11\sim 14\text{ nm}$  の整数倍の間隔で二次元的に配置されていることを特徴とするトランジスタアレイともなりうる。

【0017】このトランジスタアレイを製造する適切な方法は、上記のトランジスタの製造方法と基本的に同様である。ただし、金属の入っていない多数個のタンパク質殻、例えば多数個のアポフェリチンでヘテロトライマーを包囲した状態で支持体に吸着させる。金属タンパク質複合体のタンパク質殻もアポフェリチン等のタンパク質殻も前記のように一次熱処理で焼失する。最終的にアクセプタ不純物とドナー不純物とはタンパク質殻のピッチで配置されるとともに、1つのヘテロトライマーに由来する不純物の組と他の組とが、タンパク質殻のサイズ  $11\sim 14\text{ nm}$  の整数  $n$  倍の間隔で配置されたものとなる。 $n$  は、ヘテロトライマーを包囲するタンパク質殻の層数で調整できる。

【0018】このトランジスタアレイは各トランジスタがナノメートル間隔で配置されているので、 $100$  億個  $/\text{cm}^2$  のトランジスタを集積可能であり、高い増幅度のアンプの実現を期待できる。

【0019】

【発明の実施の形態】（実施例1）これは本発明量子素子の製造方法の例である。原料としてフェリチンの粒子溶液を準備する。フェリチンは、図1に示すように  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  の芯1がタンパク質の殻2で囲まれた金属タンパク質複合体であり、馬、牛などの動物のひ臓や肝臓などの臓器から取り出すことができる。芯1の直径は  $6\text{ nm}$  程度であり、その鉄原子の総数は  $2000\sim 3000$  個である。殻2は、分子量2万程度のタンパク質の24量体であり、24量体全体の外径は  $12\text{ nm}$  程度である。

【0020】図2に示すように、テフロン製の水槽3に緩衝液を貯め、液中にフェリチン4を分散させるとともに液面にPBLH膜（LB膜）5を張った。適当な酸、例えば例えば塩酸でpHを6程度に調節した。PBLH膜5が正電荷を帯びているのに対してフェリチン4は負電荷を帯びているから、pH上昇につれてフェリチン4がPBLH膜5に付着し、二次元結晶ができた。続いて、表面が厚く酸化された厚さ  $500\text{ }\mu\text{m}$  程度のシリコ

ン基盤6を水面に浮かべて基盤6の表面に二次元結晶を付着させた後、水槽3から取り出した。

【0021】図3に示すように、フェリチン膜のついたシリコン基板をフェリチン膜を上に向けて置き、その上に水又は緩衝液で表面を覆った後、適当なパターンで紫外線にて処理するこの時紫外線が照射された部分のフェリチンは水溶液中に分散していく。このパターニングの後基板を水洗し、その後シリコンと反応しにくい不活性なガス中、例えば窒素中、 $500^{\circ}\text{C}$  で熱処理した。

10 【0022】タンパク質及びPBLH膜は焼失し、図4に断面図として示すように基盤6上に酸化ケイ素の薄膜7を介して  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  又はその他の鉄酸化物8が二次元的に配置されたものとなった。鉄酸化物8が二次元的に配置していることは、AFM分析によって測定された鉄酸化物8の高さが  $5.3\text{ nm}$  又は  $10.6\text{ nm}$  の2種類のみであり、しかも大部分が  $5.3\text{ nm}$  であったことから確認された。窒素中  $500^{\circ}\text{C}$  で1時間熱処理して得られた鉄酸化物の二次元結晶のSEM写真（10万倍）を図5に示す。

20 【0023】図5において、多数の白い点部分が鉄酸化物で、その周囲の黒い部分が残ったタンパク質やシリコンである。この二次元結晶を水素中  $300\sim 500^{\circ}\text{C}$  で60分間再び熱処理することにより、シリコン基盤6の表面の酸化膜の上に鉄原子の凝集体が多数個二次元的に配置された量子素子となった。凝集体の直径は、約  $6\text{ nm}$  でフェリチン中の鉄酸化物からなる芯のそれに等しく、凝集体間のピッチは約  $12\text{ nm}$  でフェリチンのタンパク質殻の一辺に等しい。図5に平面図として示すように、凝集体Mの1個を量子井戸Q、その両隣の2個をドレインD及びソースS、量子井戸Qの隣の第4の凝集体をゲートGとし、その他の凝集体Mを配線に用いることで、単電子トランジスタとなる。

30 【0024】この単電子トランジスタの量子井戸Qは、2千～3千個の原子の凝集体であるから、この量子井戸のフェルミレベルに最も近い遷移レベルは室温での電子の熱励起レベルよりも高い。又、量子井戸QとドレインD及びソースSとが、トンネル効果を生じうる距離  $12\text{ nm}$  に配置されている。よって、この単電子トランジスタは、室温もしくは実用可能な温度でトンネル現象を確認できる。

40 【0025】（実施例2）これは、実施例1で得られた量子素子の配線方法の例である。実施例1の量子素子をフィールドエミッション走査型電子顕微鏡（FE-SEM）のチャンパーに入れ、チャンパー内部を  $10^{-6}\text{ Pa}$  程度の真空状態にし、ビームの径を  $5\text{ nm}$  程度に絞ってドレインD、ソースS又はゲートGとその他の鉄原子凝集体Mとの間を走査させた。その結果、炭素線からなる配線が得られた。

50 【0026】（実施例3）これは、本発明量子素子を応用したダイオードの例である。表面にアンモニウム基N

H<sub>4</sub><sup>+</sup>が結合した平均粒径100μmのポリスチレンビーズが充填されたカラムを準備した。アポフェリチンの芯の位置にアルミニウムの酸化物を入れ、得られた金属アポフェリチン複合体を上記カラムに通しポリスチレンビーズに吸着させた。続いて別のアポフェリチンの芯の位置にリン酸を入れ、得られた金属アポフェリチン複合体を同じカラムに通しポリスチレンビーズに吸着させた。そして、カラム内で、それら2種類の金属アポフェリチン複合体をタンパク質のシステイン残基の硫黄同士でジスフィルド結合させて図6に示すようなヘテロダイマーを作製した。カラムから塩によりヘテロダイマーを溶出して実施例1の水槽と同じ水槽に入れた。

【0027】このヘテロダイマーを実施例1のフェリチンに代える以外は、実施例1と同一条件でシリコン基盤に二次元結晶を付着させ、熱処理及び再熱処理を行った。シリコン基盤上にアルミニウム原子凝集体とリン原子凝集体とが中心同士12nmの距離で配置していた。これを実施例1と同一の条件で更に熱処理することによりアルミニウム原子凝集体及びリン原子凝集体が各々の直下のシリコン基盤に拡散し、n、p型半導体が出来た。これはダイオードとして機能し、その大きさは10nm×20nmであった。

【0028】（実施例4）これは、本発明量子素子を応用したトランジスタの例である。実施例3と同一手順でカラム内でヘテロダイマーを作製した。別の第三のアポフェリチンの芯の位置にアルミニウムの酸化物を入れ、得られた金属アポフェリチン複合体を同じカラムに通し、ポリスチレンビーズに吸着させた。そして、カラム内で、ヘテロダイマーと第三の金属アポフェリチン複合体をタンパク質のシステイン残基の硫黄同士でジスフィルド結合させてヘテロトライマーを作製した。カラムからヘテロトライマーを流し出して実施例1の水槽と同じ水槽に入れた。

【0029】このヘテロトライマーを実施例1のフェリチンに代える以外は、実施例1と同一条件でシリコン基盤に二次元結晶を付着させ、熱処理及び再熱処理を行った。シリコン基盤上にアルミニウム原子凝集体とリン原子凝集体とが中心同士12nmの距離で配置していた。これを実施例1と同一の条件で更に熱処理することによりアルミニウム原子凝集体及びリン原子凝集体が各々の直下のシリコン基盤に拡散し、p、n、p型半導体が出来た。これはトランジスタとして機能し、その大きさは10nm×30nmであった。

【0030】（実施例5）これは、本発明量子素子を応用したトランジスタアレイの例である。実施例4と同様にしてカラム内でヘテロトライマーを作製した。同じカラムに多量のアポフェリチンを通し、ポリスチレンビーズに吸着させた後、ヘテロトライマーとアポフェリチンをタンパク質のシステイン残基の硫黄同士でジスフィ

ルド結合させてそのヘテロトライマーを図7に示すように多数のアポフェリチンで一層分囲んだ。

【0031】このアポフェリチンで囲まれたヘテロトライマーを実施例1のフェリチンに代える以外は、実施例1と同一条件でシリコン基盤に二次元結晶を付着させ、熱処理及び再熱処理を行った。シリコン基盤上にアルミニウム原子凝集体とリン原子凝集体とが中心同士12nmの距離で二次元的に配置していた。これを実施例1と同一の条件で更に熱処理することによりアルミニウム原子凝集体及びリン原子凝集体が各々の直下のシリコン基盤に拡散し、図8に示すように二次元配置したp、n、p型半導体の群が出来た。これら半導体はトランジスタアレイとして機能し、その各々の大きさは10nm×30nmであった。

【0032】

【発明の効果】この発明の量子素子は、微小な金属原子凝集体が微小間隔で配置され、しかも、この発明の配線方法により微小配線が可能であるので、常温で安定に作動する単電子トランジスタや単電子メモリーの実現を期待できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】フェリチンの構造を模式的に示す図

【図2】量子素子の製造方法を説明する図

【図3】フェリチン膜の紫外線処理と熱処理を説明する図

【図4】シリコン基盤上の量子素子を示す断面図

【図5】シリコン基盤上の量子素子を示す10万倍の顕微鏡（SEM）写真を示す写真

【図6】シリコン基盤上の量子素子によって形成された単電子トランジスタを示す平面図

【図7】金属タンパク質複合体のヘテロダイマーを模式的に示す図

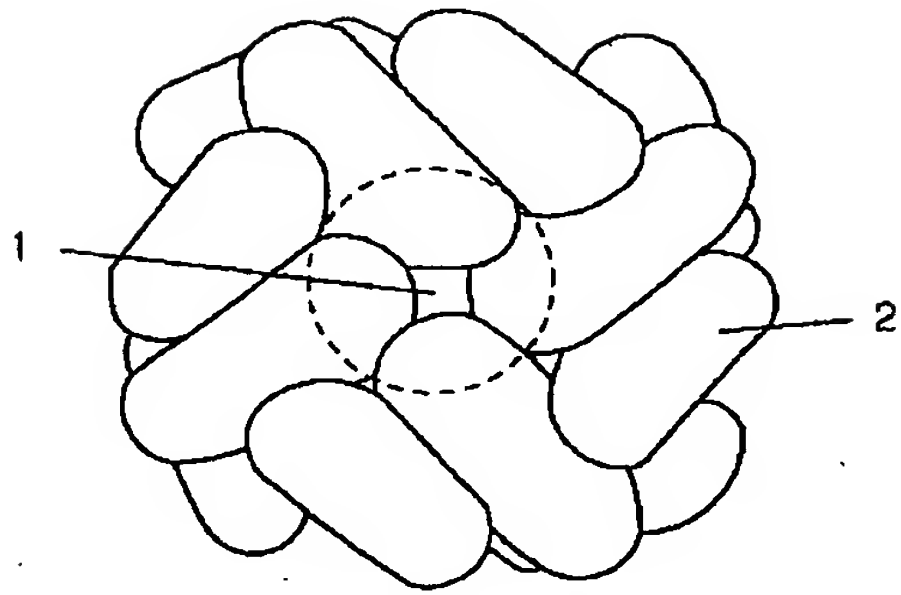
【図8】アポフェリチンで囲まれたヘテロトライマーを模式的に示す図

【図9】トランジスタアレイを示す平面図

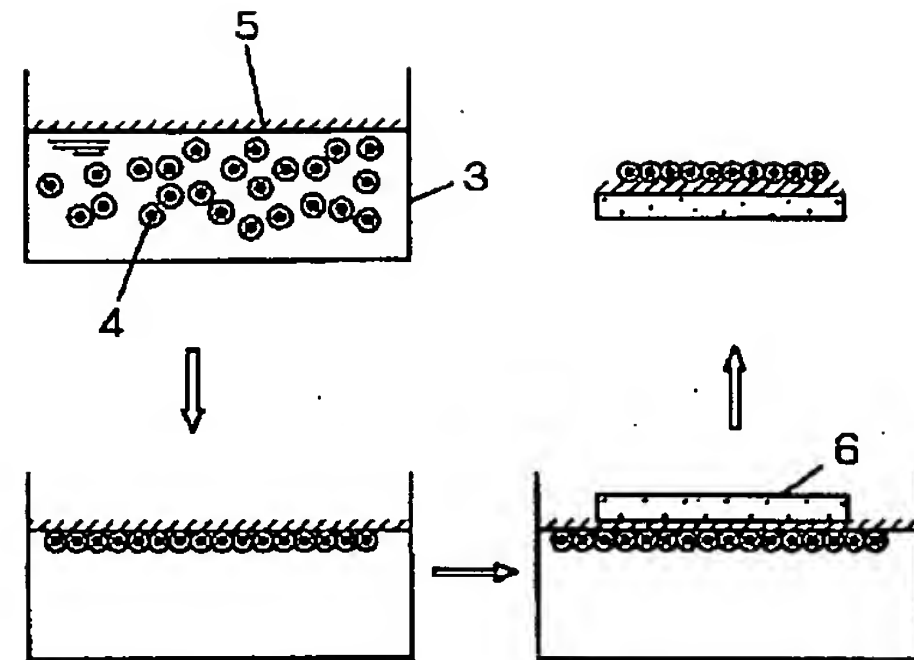
【符号の説明】

- 1 芯
- 2 タンパク質殻
- 3 水槽
- 4 フェリチン
- 5 PBLH膜
- 6 パターン用マスク
- 7 レンズ
- 8 フェリチン膜を持ったシリコン基板
- 9 フェリチン膜を持ったシリコン基板拡大図
- 10 シリコン基盤
- 11 酸化膜
- 12 金属原子凝集体

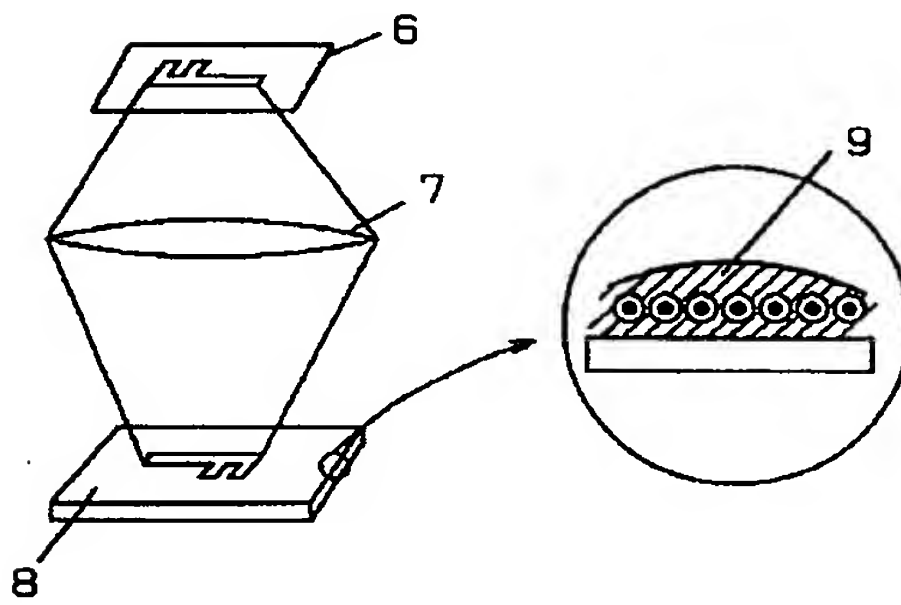
【図 1】



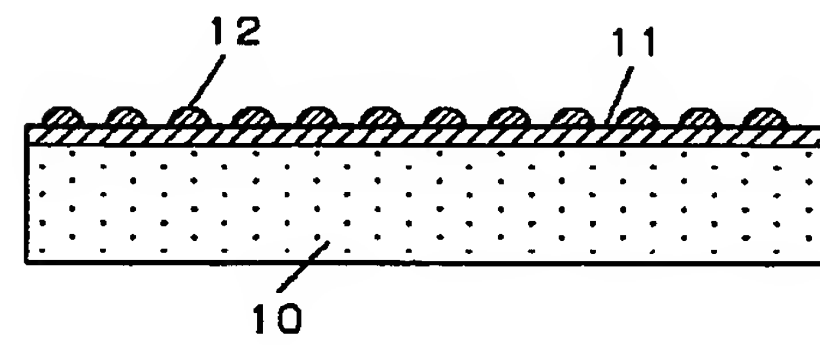
【図 2】



【図 3】

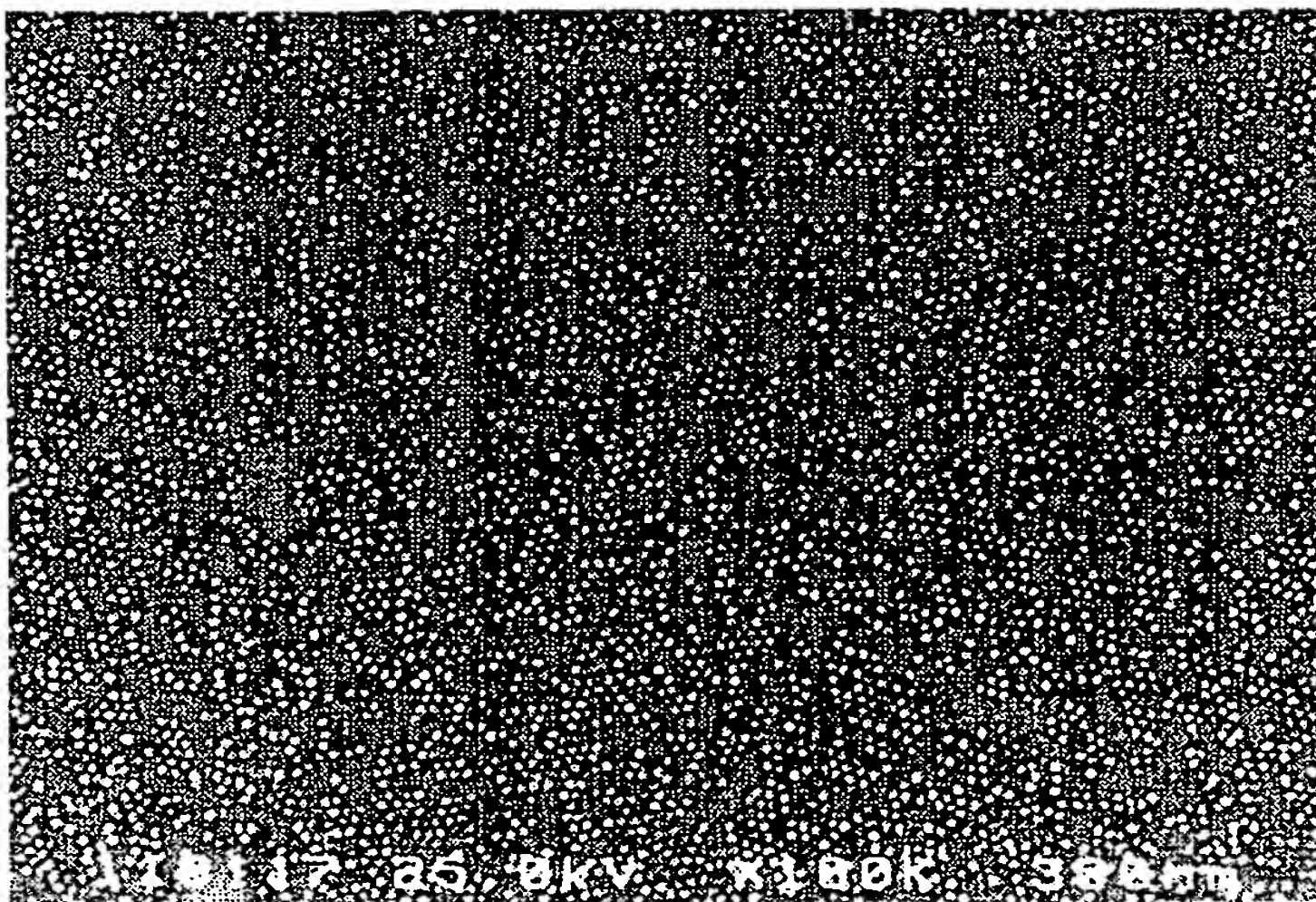


【図 4】

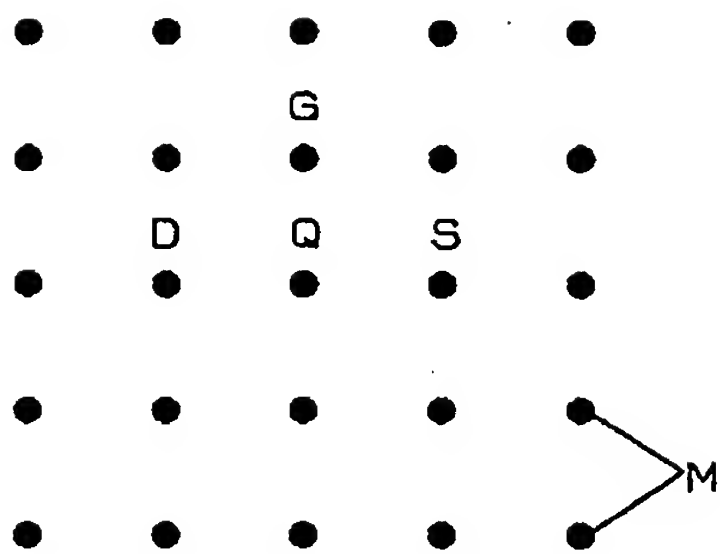


【図 5】

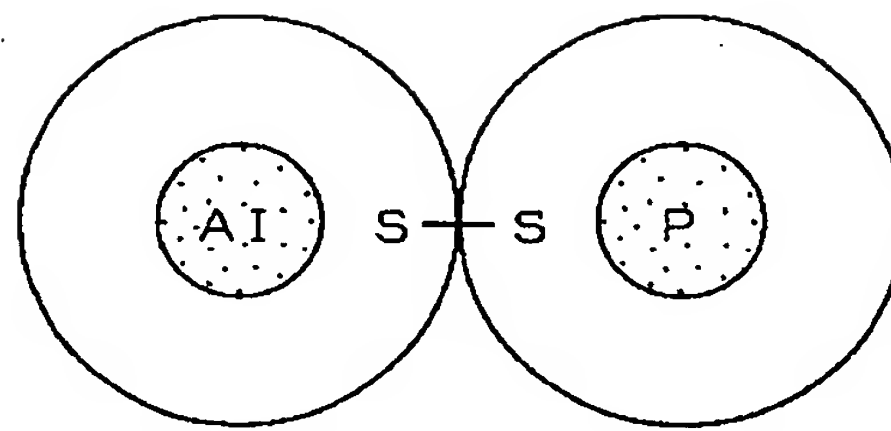
図面代用写真



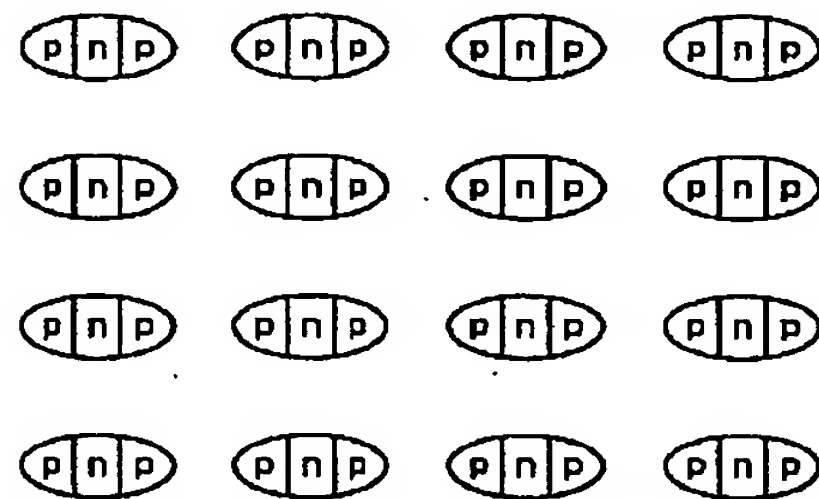
【図 6】



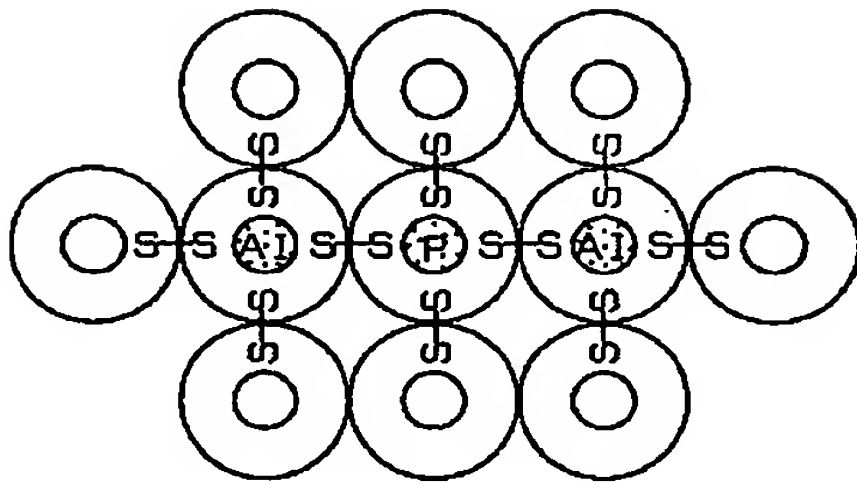
【図 7】



【図 9】



【図 8】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>  
H 0 1 L 29/73  
29/80  
29/86

識別記号

F I  
H 0 1 L 29/72  
29/80

A